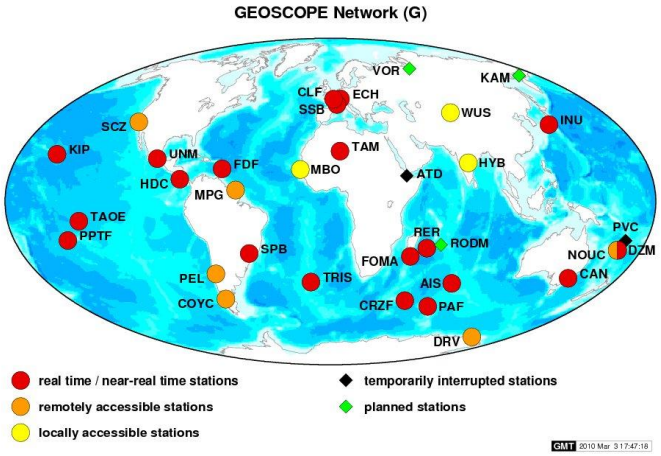
Вычисление в беспроводных сенсорных сетях

Пойда Алексей
ИКИ РАН

Sensor networks

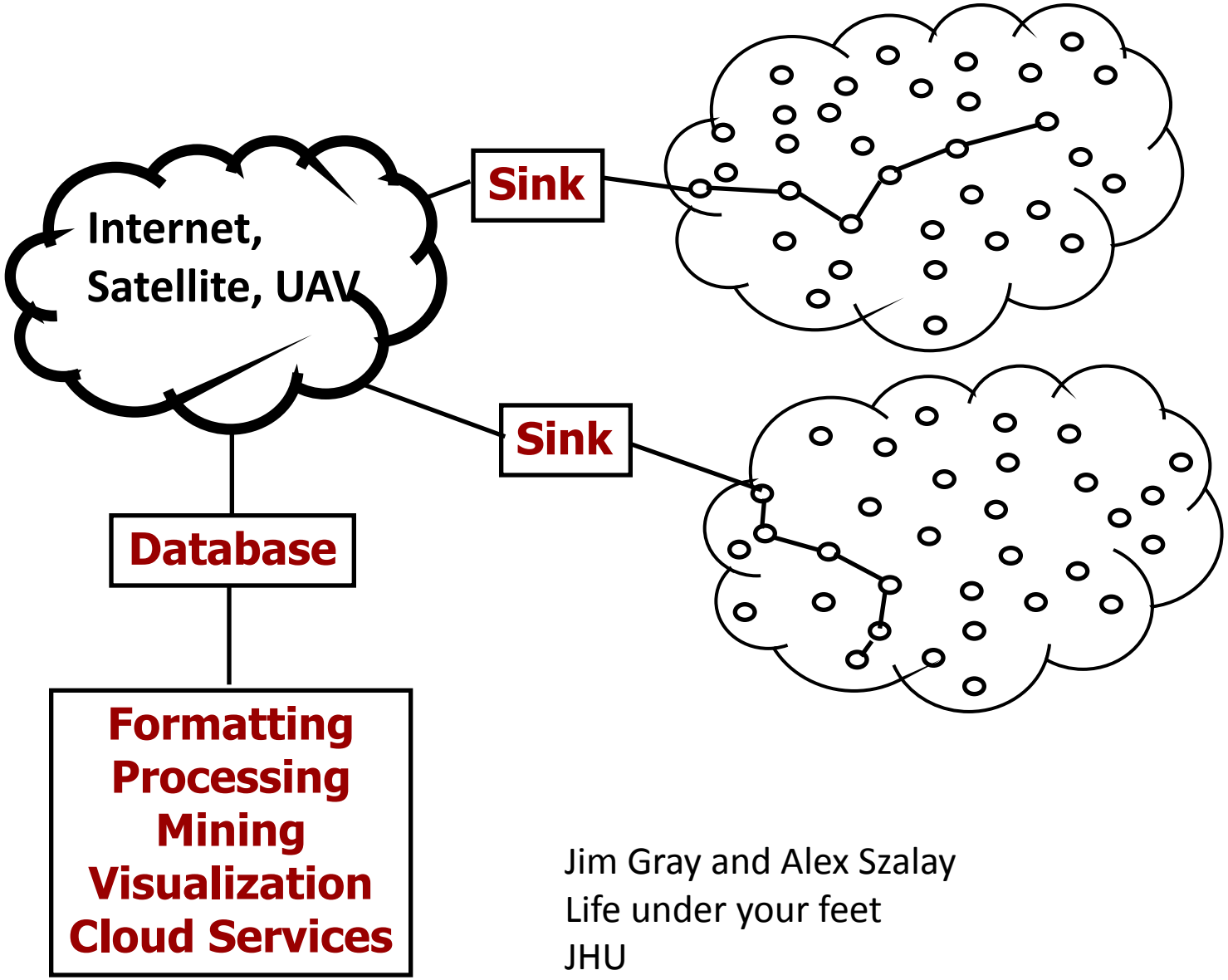
- Ad-hoc networks for environmental monitoring



- Wireless sensor networks

- Mobile sensing platform

Sensor networks architecture



Jim Gray and Alex Szalay
Life under your feet
JHU

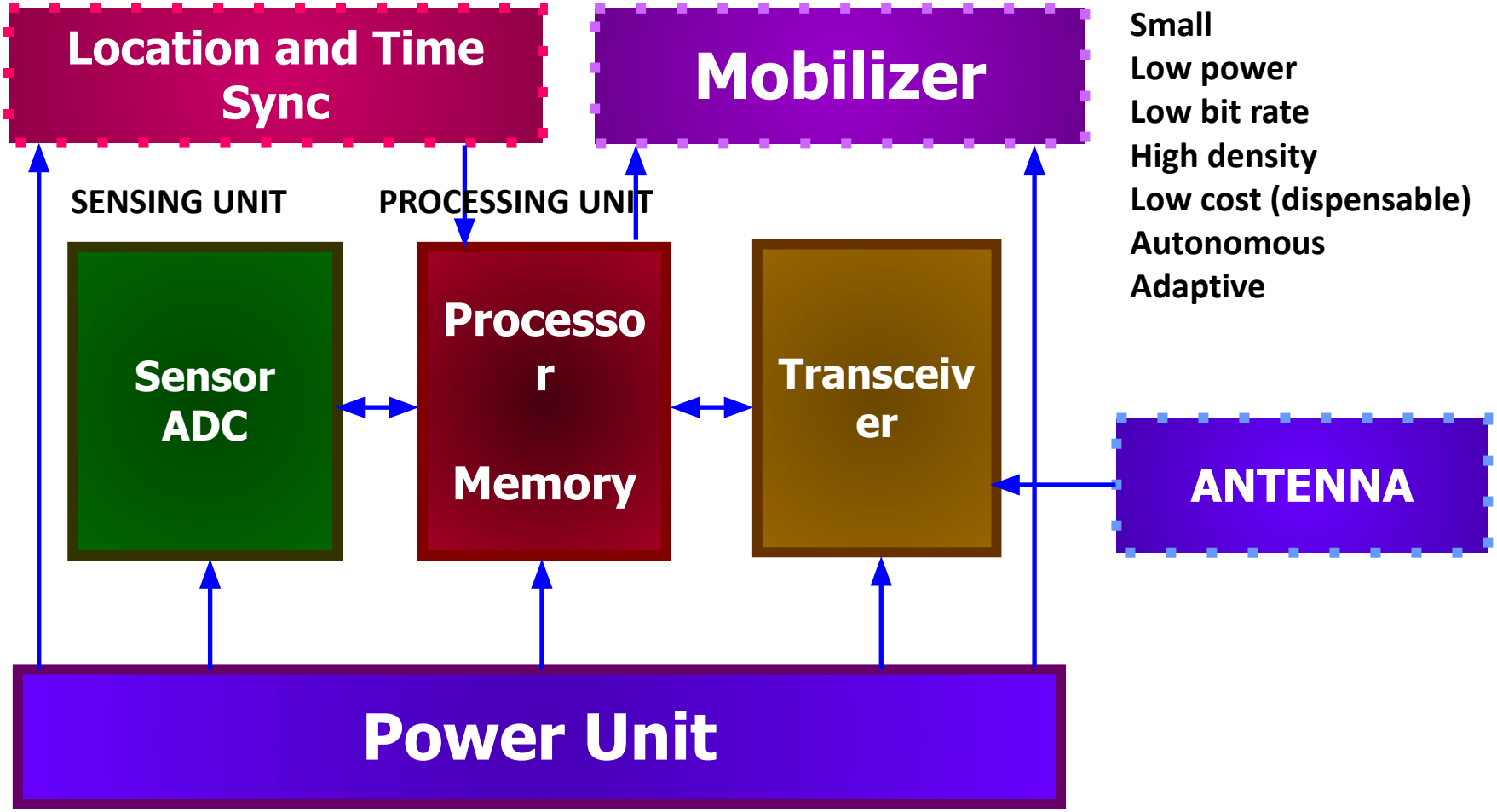
Wireless Sensor Networks (WSN)

- A WSN can consist of 10 to 1000 of sensor nodes (motes) that communicate through wireless channels for information sharing and cooperative processing
- With low-power circuit and networking a mote powered by 2 AA batteries can last for 3 years with a 1% low duty cycle working mode
- After the initial deployment (ad-hoc), motes are responsible for self-organizing into a network with multi-hop connections
- The onboard sensors then start collecting acoustic, seismic, infrared or magnetic information about the environment, using either continuous or event driven working modes
- Location and positioning information can also be obtained through the global positioning system (GPS) or local positioning algorithms
- The basic philosophy behind WSNs is that, while the capability of each individual sensor node is limited, the aggregate power of the entire network is sufficient for the required mission

Difference from ad-hoc networks

- Number of sensor nodes can be several orders of magnitude higher
- Sensor nodes are densely deployed and are prone to failures
- The topology of a sensor network may change frequently due to node failure and node mobility
- Ad-hoc network cables are prone to environmental impact such as lightning
- Sensor nodes are limited in power, computational capacities, and memory
- May not have global ID like IP address
- Need tight integration with sensing tasks

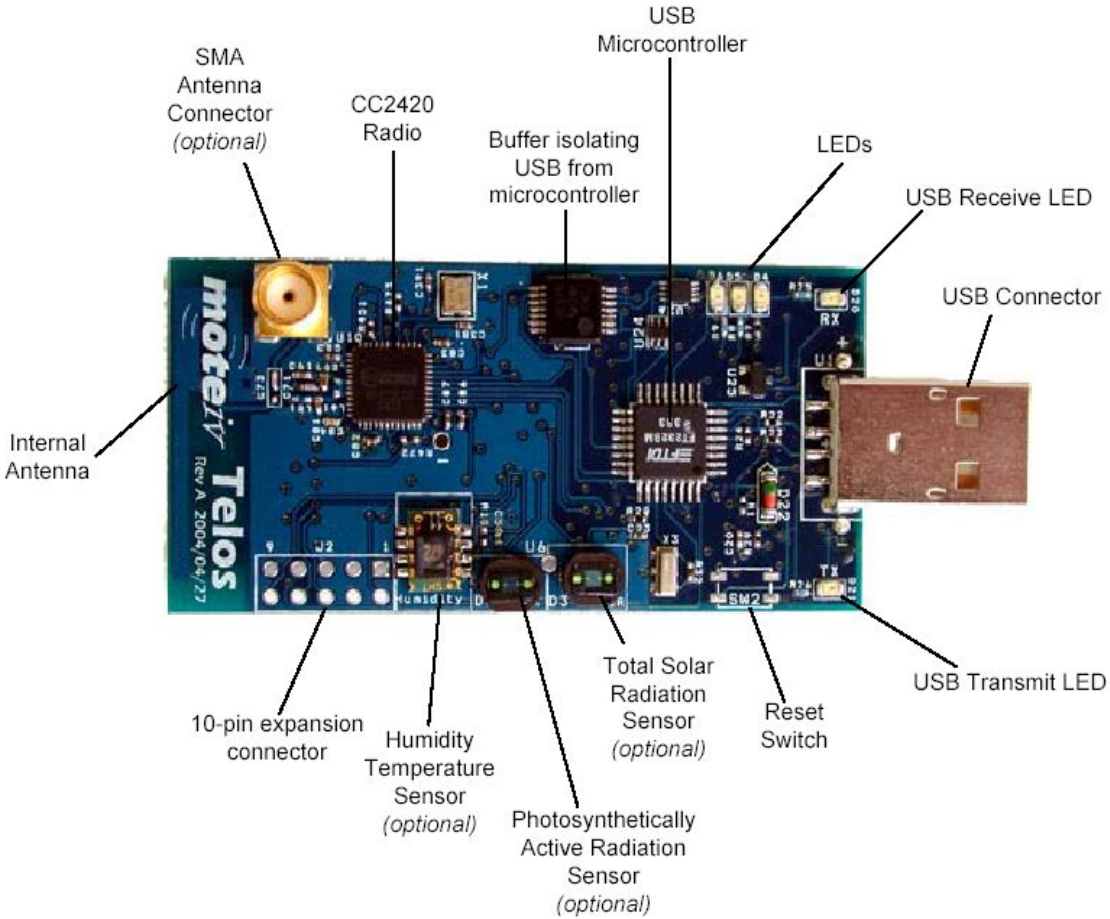
Sensor network node



Small
Low power
Low bit rate
High density
Low cost (dispensable)
Autonomous
Adaptive

Telos platform

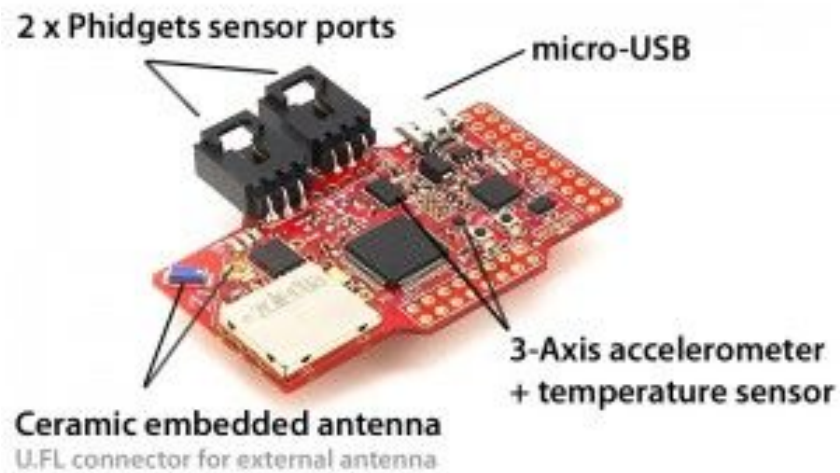
- Robust
  - USB interface
  - Integrated antenna (30m-125m)
  - External antenna capabie (~500m)
- High Performance
  - 10kB RAM, 48 KB ROM
  - 12-bit ADC and DAC
  - Hardware link-layer encryption
- Processor:
  - TI MSP430 (16bit) @8MHz
  - 6µA sleep
  - 460µA active
  - 1.8V operation
- Radio:
  - EEE 802.15.4
  - CC2420 radio
  - 250kbps
  - 2.4GHz ISM band



Evolution of Telos platform

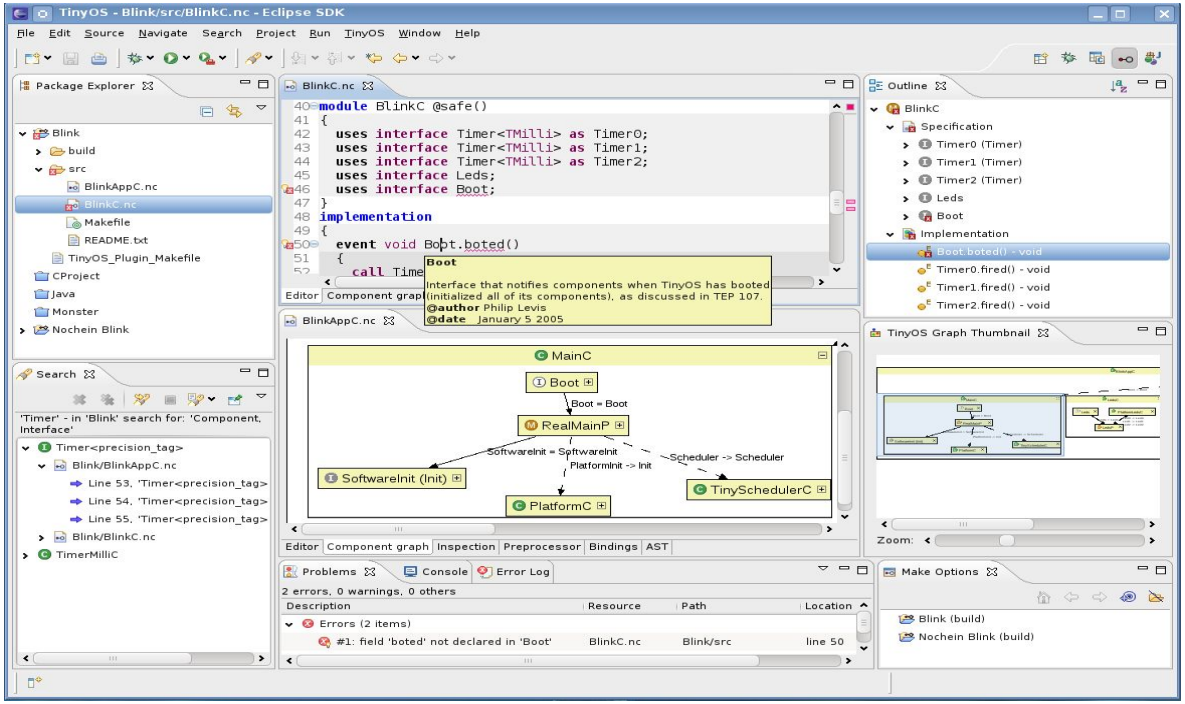
2nd generation MSP430
~50% less power consumption in stand-by and off-mode
faster wake-up: 1µs vs. 6µs
2x speed (16MHz vs. 8MHz),
~2x Flash (92KB vs. 48KB),
8KB vs. 10KB RAM
Programmable internal pull-ups.

~2x External Flash Memory (16Mbit vs. 8Mbit)
Sensors
3-axis digital accelerometer and temperature sensor vs. light, temperature and humidity sensors.
Ziglet sensors product-line under development.



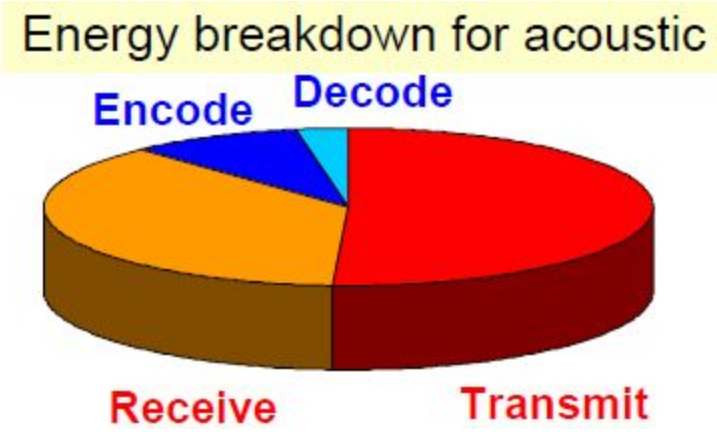
Development system

- Virtual Machine: Ubuntu 9.10 in VirtualBox
- TinyOS 2.1.1 synchronized with CVS repository
- Eclipse IDE with YETI 2 plugin for TinyOS



Power consumption

- Need long lifetime with battery operation
  - No infrastructure, high deployment & replenishment costs
- Challenges
  - Energy to wirelessly transport bits is ~constant (Shannon, Maxwell)
  - Fundamental limit on ADC speed*resolution/power
  - No Moore's law for battery technology ~ 5%/year
- How is power consumed
  - CPU (Moor's law!)
  - Radio



WSN applications

- CLASS 1: Data collection
  - Entity monitoring with limited signal processing in a relatively simple form, such as temperature and humidity
  - Sampling period from days to minutes
  - Environmental monitoring and habitat study
- CLASS 2: Computationally intensive
  - Require processing and transportation of large volumes of complex data
  - 10 Hz – 100 KHz sampling frequency
  - Seismic, industrial monitoring and video surveillance

Система KOALA: ultra-low power data retrieval in wireless sensor networks

- Проект разработан в университете Джона Хопкинса
- Система с низким потребление энергии, предназначена для долгих наблюдений параметров окружающей среды (с частотой от нескольких замеров в минуту до нескольких замеров в день)
- Flexible control protocol (динамически строящаяся таблица маршрутов) позволяет экономить энергию
- Механизм low power probing нацелен на эффективный перевод мотов из режима сна в режим активной передачи

KOALA: общая схема работы

- Моты с измерительными сенсорами установлены на местности, базовая станция подключена к USB-порту компьютера.
- Каждый мот обслуживает свои сенсоры, собирая с них информацию с предварительно заданной частотой и сохраняя во flash память.
- По требованию оператора с компьютера (работа ведется через операционную систему TinyOS) базовая станция рассылает всем мотам сигнал об активизации (LPP механизм), устанавливает маршруты скачивания данных (FCP протокол), собирает данные в сыром виде, сохраняя на диск

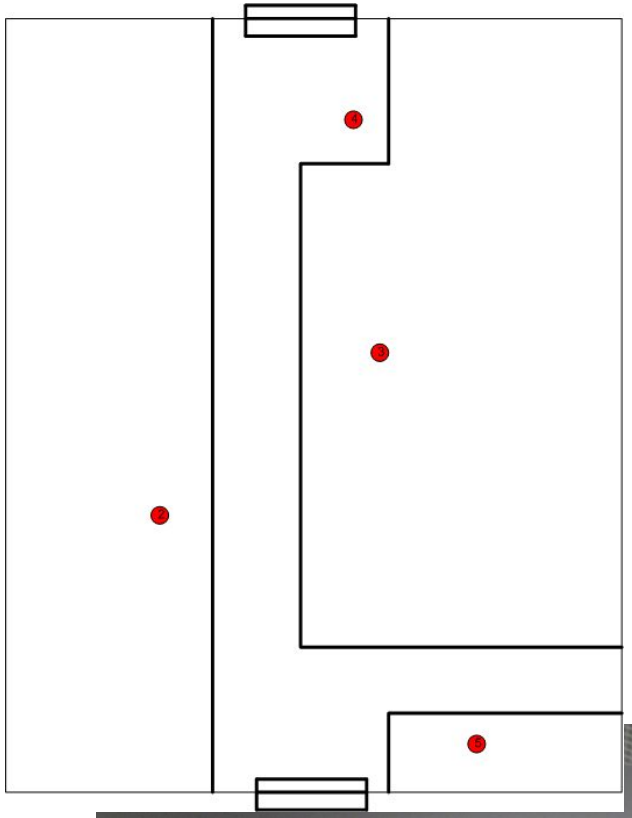
Наработки ИКИ РАН

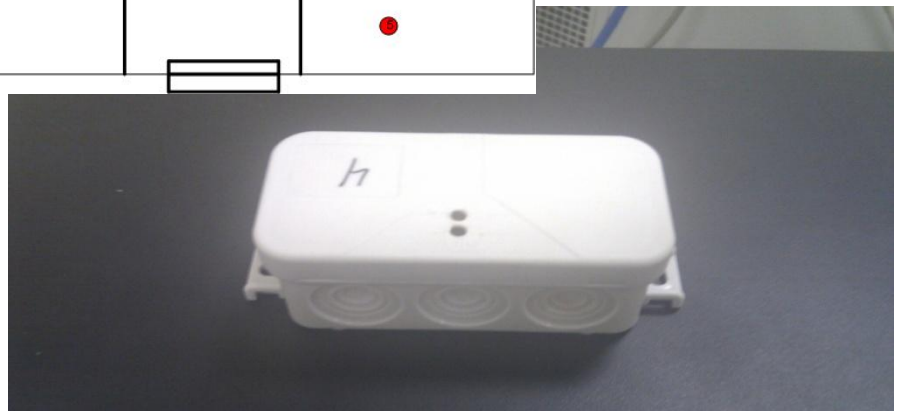
- Разработали внешние сенсоры:
  - Инфразвук
  - Термопары
  - Магнитометр
  - Акселерометр
- Разработали систему сбора «медленных» данных:
  - ПО для сенсоров на базе KOALA
  - Скрипты для предварительной обработки данных с сенсоров и загрузки в базу данных
  - База данных и веб-приложение (фронтенд) для выборки и визуализации
- Разработали технологию детектирования событий в «быстрых» потоках данных

Мониторинг окружающей среды в вычислительном центре ИКИ РАН

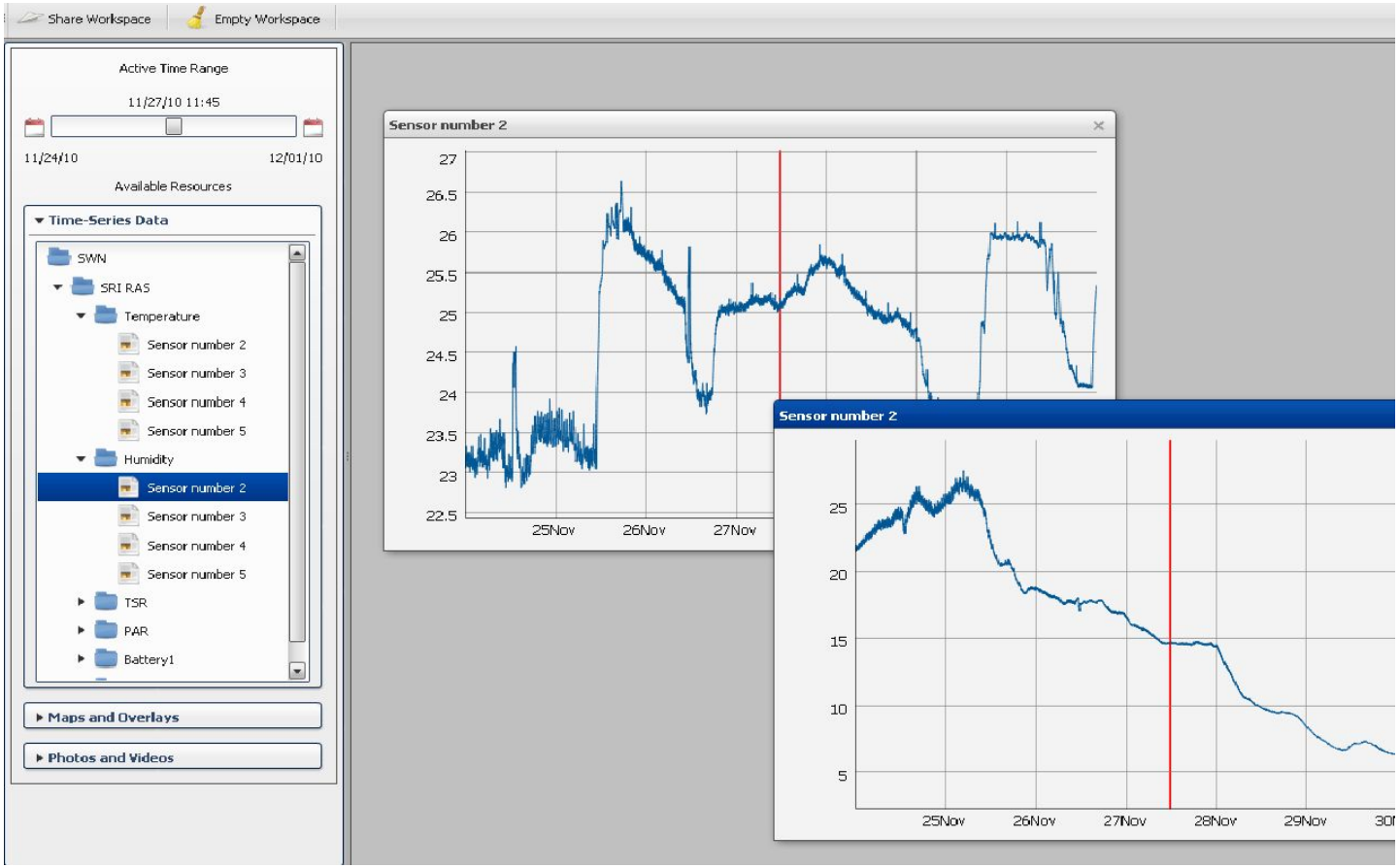
- 5 мотов со стандартным набором сенсоров
- Данные скачивались нерегулярно, с интервалами от 2 до 7 дней.
- Результаты сохранялись в сыром специфическом виде в локальном файле в виртуальной машине.
- Сырые данные переформатировались в числовой формат.
- Данные в числовом формате загружались в удаленную базу данных MySQL, откуда они могут быть запрошены системой визуализации. Кроме того данные из числового формата могут быть преобразованы в CSV формат и отображены, например, в приложении MS Excel

Эксперимент в вычислительном центре ИКИ РАН





Визуализация данных с сенсоров

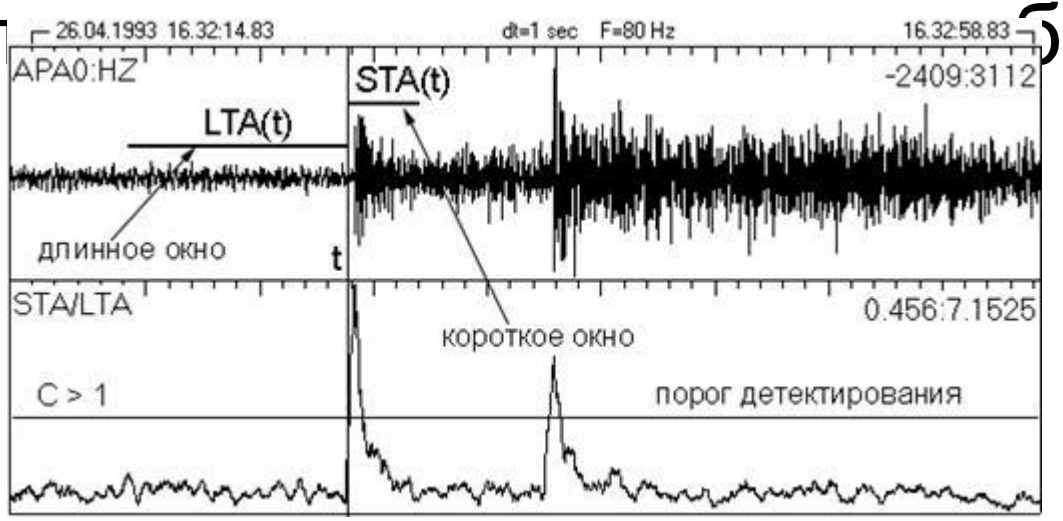


Статистика

- начало эксперимента: 03.11.2010
- окончание эксперимента: 07.12.2010
- падение заряда батареек: в среднем упал с заряда 3,2 до 3 (здесь стоит отметить агрессивную среду, периодическое прерывание каналов и неоптимальный аппарат системы скачивания данных Koala, требующих больших накладных расходов при потере связи)
- скорость опроса сети: в зависимости от удаления сенсора и количества посредников в мультихоповом пути, но в среднем на скачивание данных с одного мота, полученных за сутки (2880 байт) тратится минута.
- скорость LPP протокола: по умолчанию, на то, чтобы разбудить моты, управляющему моту давалось полторы минуты, но реально приведение сети в готовность происходила за 10-20 секунд.
- Нет потерянных данных при успешной передаче
- Поддержка связи на расстоянии порядка 10-20 метров через препятствия (стены) и в условии постоянных помех от аппаратуры
- За более чем месяц эксперимента не потребовалось техническое обслуживание ни одному моту
- К негативным сторонам следует отнести высокие накладные расходы, связанные с разрывом виртуального канала передачи данных, а также довольно низкую скорость передачи данных.

Обработка высокочастотных данных

- Требуется обработать данных больше чем лимитирует пропускная способность сети
- Испол бытий



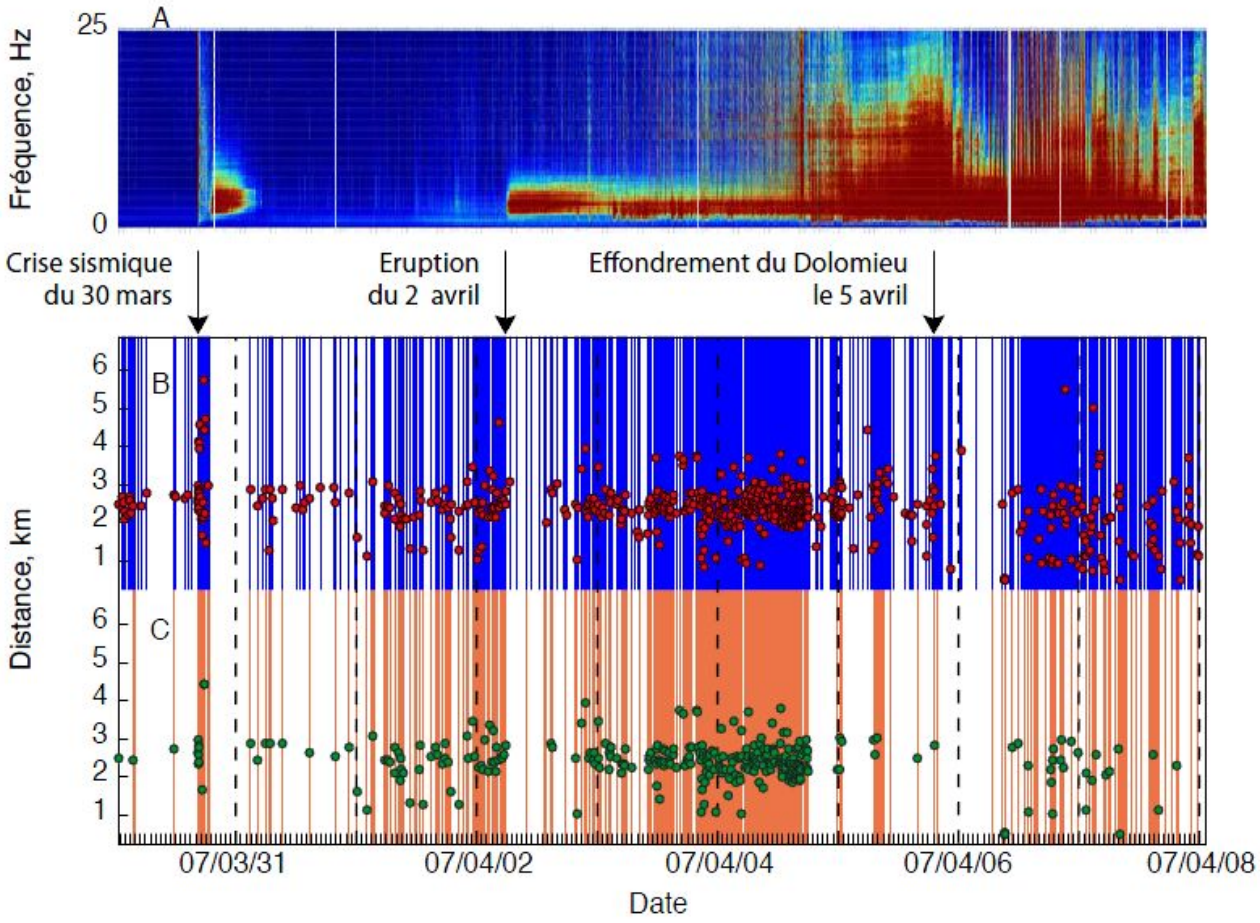
Другие проблемы, решаемые при построении WSN

Назначение новой задачи по контролю объекта, исходя из его местоположения и требования минимальной нагрузки сети

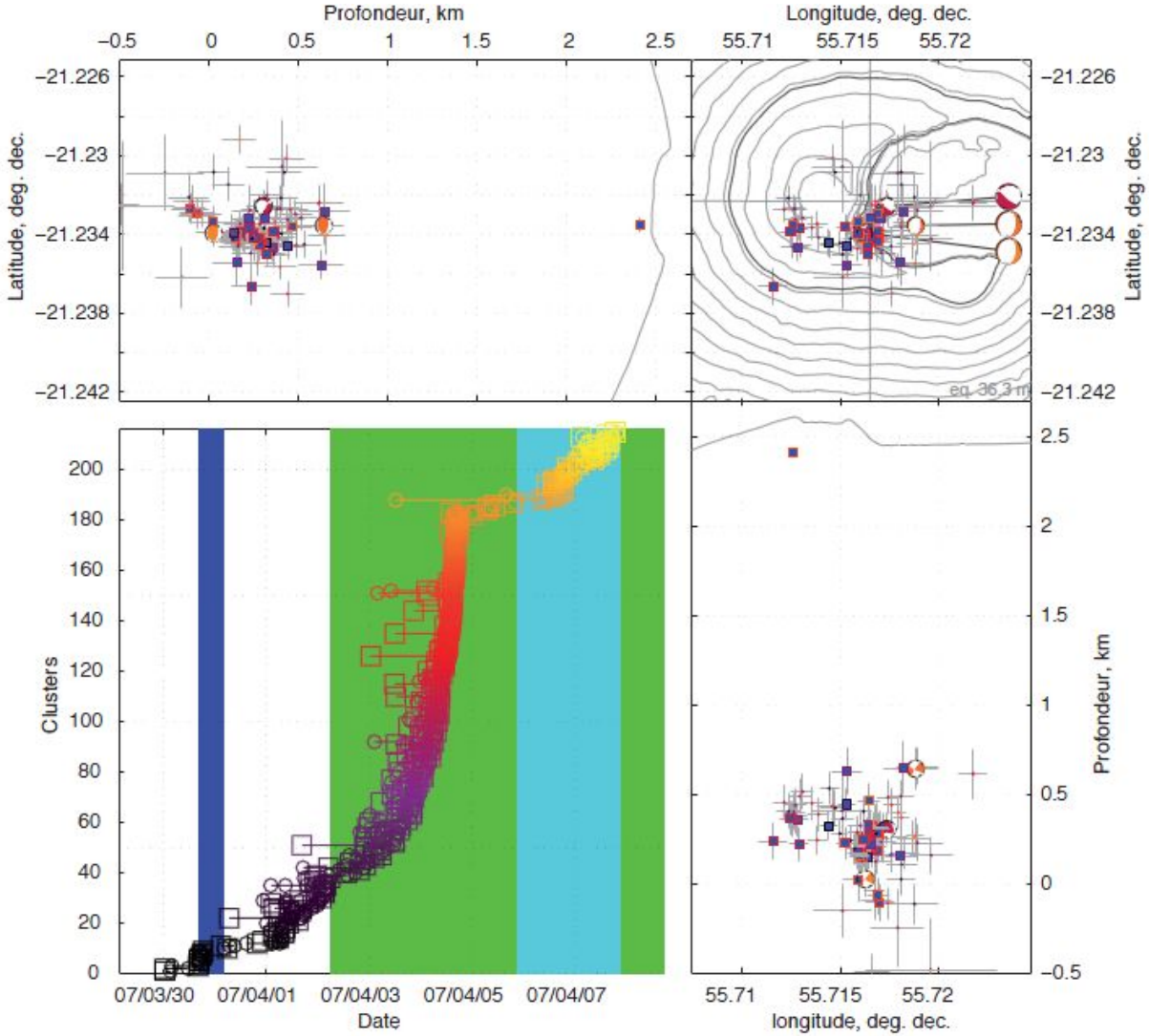
Сжатие данных и контроль передаваемого трафика

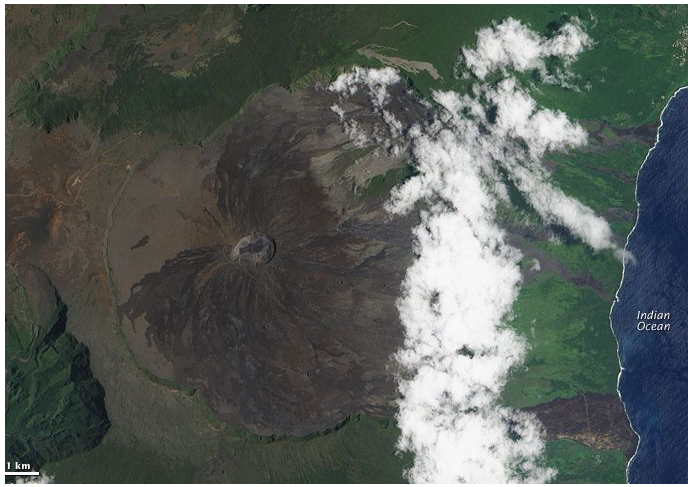
Выбор стратегии при вычислениях, в которых задействовано несколько узлов (с одной стороны требуется обмен данными, с другой – требуется затраты батарей на пересылку)

Automatic vs. manual seismic event detection Piton de la Fournaise volcano



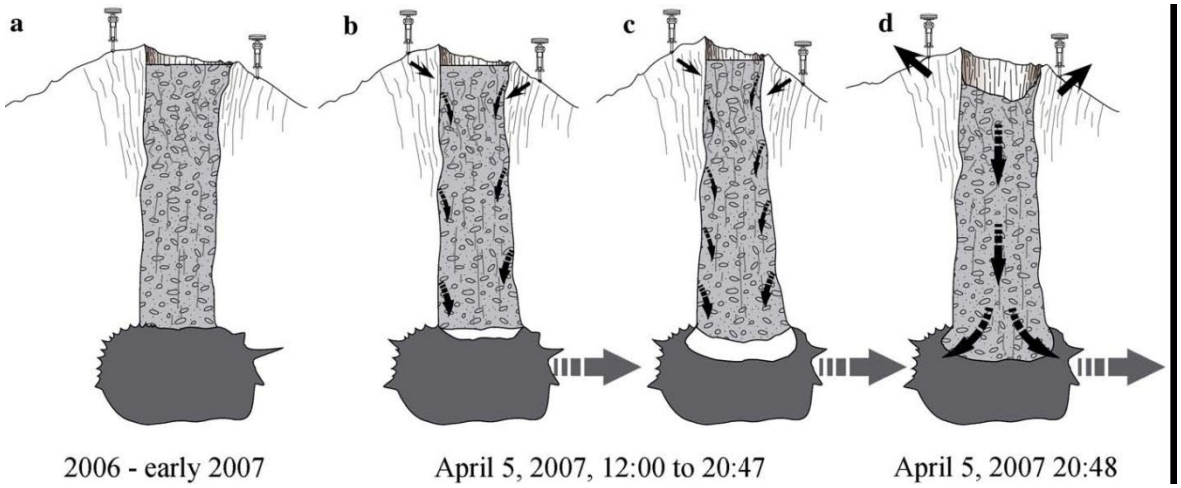
Spatio-temporal clustering of seismic waveforms

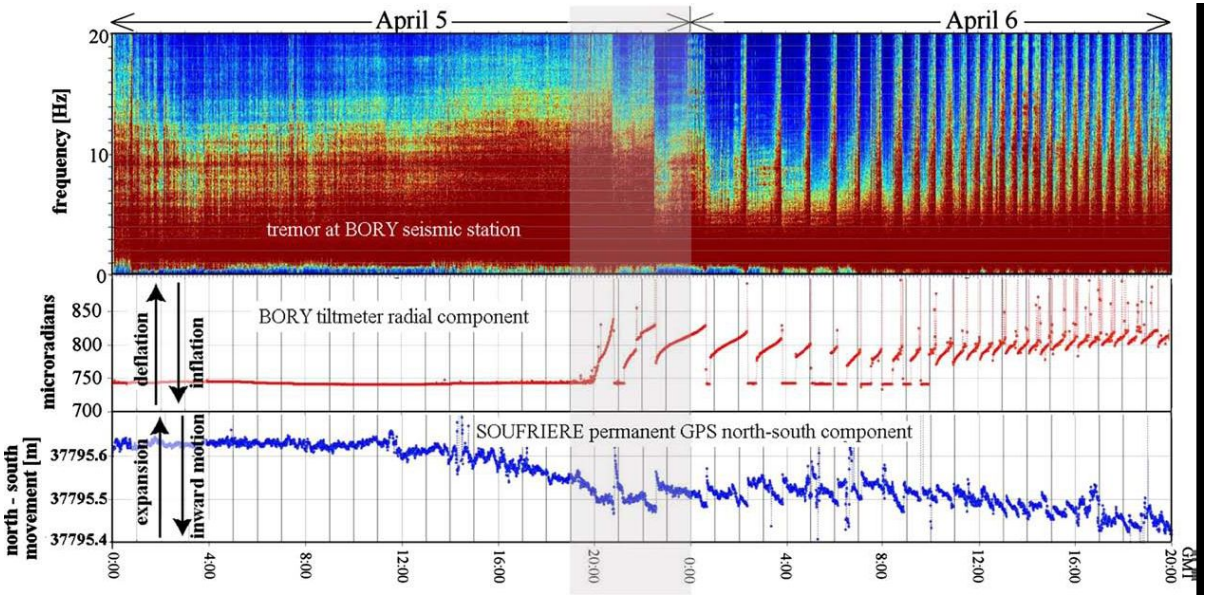




Advanced Land Imager (ALI) on NASA's Earth Observing-1 satellite captured this image of Piton de la Fournaise on January 16, 2009

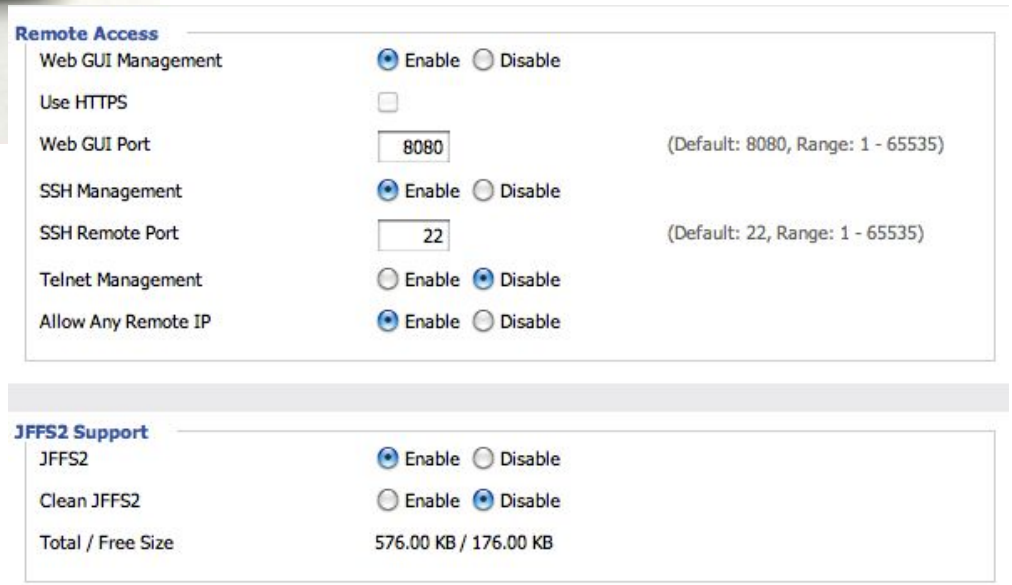
The April 2007 eruption and the Dolomieu crater collapse, two major events at Piton de la Fournaise





Piton de la Fournaise eruption
January 2, 2010

Иерархическая беспроводная сеть



Направление дальнейшей работы

- Разработка эффективного программного аппарата учета топологии.
- Разработка пространственно-временных распределенных алгоритмов детектирования событий на узлах без передачи данных на центральную базу.
- Разработка системы ответного воздействия для конкретных систем (пример: управление системами орошения в сельском хозяйстве)
- Построение интерактивной системы визуализации данных с возможностью отображения на многодисплейных видеостенах и удаленного перепрограммирования сенсоров (моты последнего поколения предоставляют подобную возможность)